

# Structural Optimization Design Based on a Certain Type of Secondary Reducer Box

De Zhang Zhijun Liu

School of Mechanical and Automotive Engineering, Yinchuan Energy College, Yinchuan, Ningxia, 750000, China

## Abstract

This paper is based on the structural optimization design of a certain type of secondary reducer box, and uses SolidWorks software to draw a three-dimensional model diagram of the structure of a certain type of secondary reducer. The finite element analysis software is used to optimize the design of the box of a certain type of secondary reducer under given conditions, and the stress and displacement cloud maps of the reducer box are obtained. From this, we have identified the weak links in the design process of the reducer, optimize the box structure of a certain type of secondary reducer through finite element analysis. The results show that the optimized box structure scheme can save about 21.23% of materials.

## Keywords

SolidWorks; reducer; ANSYS; optimize design

# 基于某型二级减速器箱体的结构优化设计

张德 刘志军

银川能源学院 机械与汽车工程学院, 中国 · 宁夏 银川 750000

## 摘要

论文基于某型二级减速器箱体的结构优化设计, 运用SolidWorks软件绘制了某型二级减速器结构的三维模型图, 运用有限元分析软件对某型二级减速器的箱体在给定的条件下进行优化设计, 得到了减速器箱体的应力云图和位移云图, 从中我们得到了减速器在设计过程中存在的薄弱环节, 通过有限元分析, 对某型二级减速器箱体结构进行优化。结果表明, 优化后的箱体结构的方案可节省的材料约21.23%。

## 关键词

SolidWorks; 减速器; ANSYS; 优化设计

## 1 引言

减速器箱体是减速器的重要组成部分, 承受着传动系统在传动过程中的受力, 因此减速器的箱体在设计的过程中要有足够的强度。传统设计要经过反复的设计验证, 边设计边修改, 同时结合自己的经验, 运用相关公式和设计系数来对减速器箱体进行设计。而基于 ANSYS 软件的有限元分析能够提高减速器箱体设计的合理性和经济性, 因此我们对某型二级减速器箱体的优化设计是非常有必要的。能够降低生产厂家的制造成本。

【基金项目】2022年区级一般研究项目“反刍类养殖动物舔砖压机优化设计及仿真研究”(项目编号: NYG2022136); 2021年区级一流本科专业建设项目。

【作者简介】张德(1988-), 男, 中国宁夏固原人, 回族, 本科, 助教, 从事数控加工研究。

## 2 某型二级减速器箱体的建模

### 2.1 减速器的传动系统结构组成

传动系统结构组成如图 1 所示, 某型二级减速器原始数据如表 1 所示。

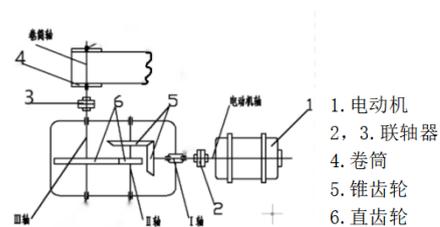


图 1 传动系统结构组成图

表 1 某型二级减速器原始数据

| 传送带拉力 F (N) | 传送带速度 V (m/s) | 滚筒直径 D (mm) |
|-------------|---------------|-------------|
| 1500        | 1.1           | 220         |

## 2.2 用 SolidWorks 软件建立减速器箱体模型

根据已知条件和数据,通过计算得出减速器的相关数据,然后建立减速器箱体模型,如图2、图3所示。

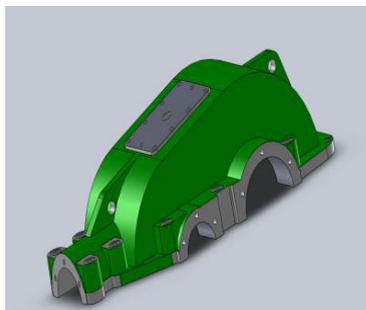


图2 箱盖

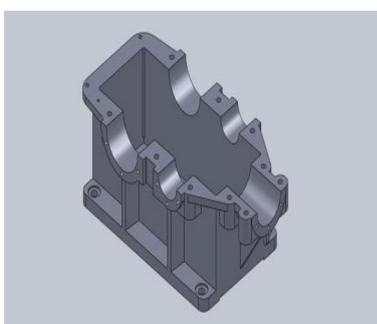


图3 下箱体

## 3 基于 ANSYS 的减速器结构有限元分析

由于减速器在运动过程中受力的主要是下箱体(图3),所以直接对下箱体进行有限元分析。在 ANSYS 软件的有限元分析中,首先要定义材料的相关特性,如弹性模量、泊松比和密度。箱体材料灰铸铁 250,杨氏模量  $E=1.73 \times 10^{11} \text{Pa}$ ,泊松比  $\mu=0.3$ ,密度为  $\rho=7.29 \times 10^3 \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 。

某型二级减速器箱体的模型是通过 SolidWorks 软件绘制的,将绘制好的三维模型导入到有限元分析软件(ANSYS)中,首先进行网格划分,网格划分是为了后续数值计算和分析结果的准确性。本文减速器箱体的网格划分采用自由网格划分。如图4所示。

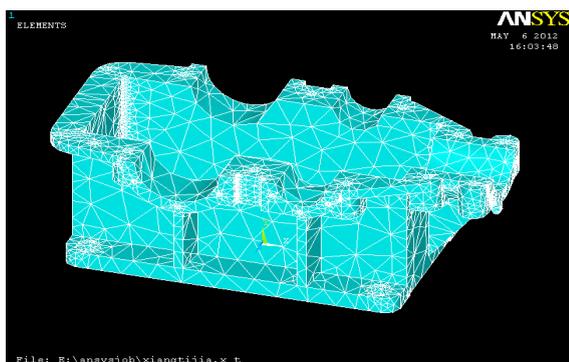


图4 某型二级减速器箱体的网格图

## 3.1 约束条件和载荷的施加

减速器箱体的它的固定方式是采用地脚螺栓与地基连接,将地脚螺栓通过减速器箱体上的孔固定在地基上,那么地脚螺栓预紧力作用在孔的凹台上,所以在本次计算过程中,减速器箱体的约束加在地脚螺栓孔的凹台上,使箱体不能产生前后左右上下的位移和转角,减速器箱体所受到的力主要是通过轴承传递的。

## 3.2 计算结果和分析

减速器箱体施加约束后,接着施加载荷,然后通过有限元分析软件计算结果。得到的效果如图5、图6所示。由图5可以看出,减速器箱体的大多数部位其受力较小,最小处的受应力仅为  $6.34 \text{MPa}$ ,说明减速器箱体在设计的过程中还有很大的优化设计,由图6可以看出,箱体的变化从两侧向最大轴承孔呈现由小到大的变化趋势。减速器箱体在4个地脚螺栓处施加约束的变化最小,大约为  $0.325 \times 10^{-11} \text{mm}$ ,最大位移出现在高速轴承孔边缘和低速轴承孔边缘,最大位移量达到  $0.141 \times 10^{-10} \text{mm}$ 。

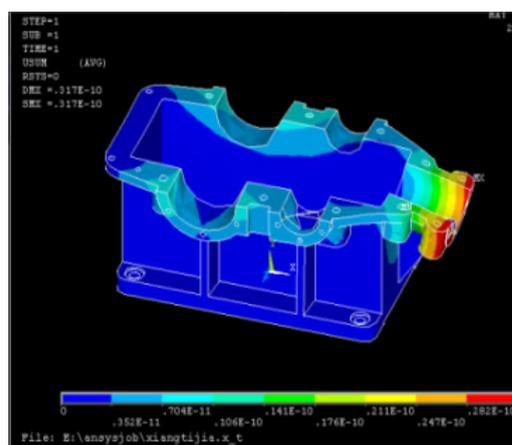


图5 等效应力云图

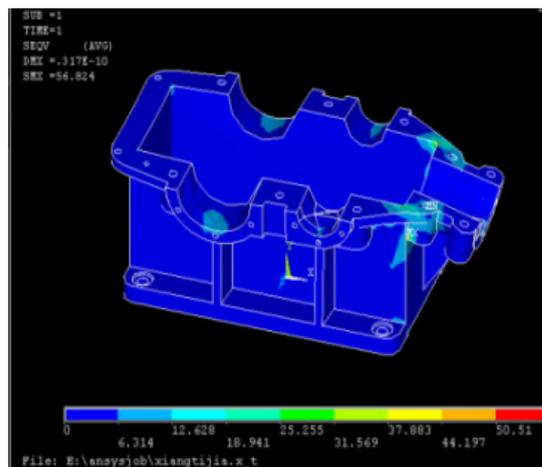


图6 向量位移云图

## 3.3 减速器箱体的优化设计

论文通过 SolidWorks 软件绘制某型二级减速器的箱体

结构,运用有限元分析软件(ANSYS)对本次绘制的箱体进行结构的优化分析,以达到缩小减速器箱体的体积和减轻减速器箱体的重量的目的。应用ANSYS软件对某型二级减速器箱体进行条件设置,然后对减速器箱体进行优化分析。以箱体体积为目标函数,建立的优化模型为:求  $B = [\delta]$ , 使箱体体积  $V(B) \rightarrow \min$ , 满足<sup>[1]</sup>:

$$B_{\min} \leq B \leq B_{\max}, \text{ 且 } \delta_{\max} \leq \delta F$$

设计变量是箱体壁厚  $B$ , 箱体的体积  $V$  是目标函数, 确定以下三个主要的变量为减速器箱体结构的优化变量<sup>[1]</sup>。

### 3.3.1 设计变量

①底板厚度  $H1$ ; ②轴承座底板厚度  $H2$ ; ③箱体内壁厚度  $B$ 。

其变化范围定义为:  $15 \leq H1 \leq 20, 15 \leq H2 \leq 20, 8 \leq B \leq 15$  (单位为  $mm$ )。

### 3.3.2 状态变量

减速器箱体采用的材料为灰铸铁 250, 减速器箱体能承受的最大应力应小于  $90MPa$ , 考虑到安全性安全因素, 设定变量的范围为  $70MPa \sim 90MPa$ 。

### 3.3.3 目标函数

在减速器箱体的主要尺寸不变的前提下, 箱体体积要求达到最小。

在有限元分析中, 定义箱体的体积  $V$  为优化目标, 底板厚度  $H1$ 、轴承座底板厚度  $H2$ 、箱体内壁厚度  $B$  为设计变量, 最大节点应力  $S_{MAX}$  为状态变量, 采用零阶法求解, 循环迭代次数为 5 次, 具体设置如下<sup>[1]</sup>:

opvar, v, obj, 0.25 定义目标函数为总体积  $V$ , 容差  $0.25mm^3$

opvar, S<sub>MAX</sub>, SV, 70e6, 90e6 定义状态变量  $S_{MAX}=70$  到  $90MPa$

opvar, H1, dv, 15, 20, 0.05 定义设计变量  $H1=15mm$  到  $20mm$ , 容差  $0.05mm$

opvar, H2, dv, 10, 15, 0.05 定义设计变量  $H2=10mm$  到  $15mm$ , 容差  $0.05mm$

opvar, B, dv, 8, 15, 0.05 定义设计变量  $B=8mm$  到  $15mm$ , 容差  $0.05mm$

optype, subp! 使用零阶优化设计方法

opsubp, 5! 最大优化设计 5 循环

优化运算之后, 可以得到优化数据列表 2。

表 2 列出了在迭代过程中设计变量, 状态变量和目标变量的数据。从表中我们通过观察减速器在优化运算之后所记录的第 4 次和第 5 次设计变量数据进行比较, 结果如表 3 所示。

在有限元分析软件中容差时, 设计变量的容差均设置为  $0.05$ , 而表 3 所示的底板厚度  $H1$ 、轴承座底板厚度  $H2$ 、箱体内壁厚度  $B$  的差值均小于  $0.05$ , 根据零阶法收敛判定之一“最后两个设计所有设计变量的变化值应小于各自的允许误差”。可得出箱体的优化是收敛的<sup>[1]</sup>。

表 2 优化数据列表 (其中  $H1$ 、 $H2$ 、 $B$  单位为  $mm$ )

| 迭代次数 | H1     | H2     | B     | S <sub>MAX</sub> (MPa) | V (mm <sup>3</sup> ) |
|------|--------|--------|-------|------------------------|----------------------|
| 1    | 20     | 15     | 8     | 56.82                  | 0.30465E8            |
| 2    | 18.892 | 14.263 | 7.864 | 57.63                  | 0.29654E8            |
| 3    | 17.175 | 13.986 | 7.692 | 63.88                  | 0.27325E8            |
| 4    | 16.652 | 13.552 | 7.527 | 61.43                  | 0.24256E8            |
| 5    | 16.607 | 13.521 | 7.492 | 65.95                  | 0.23998E8            |

表 3 最后两次迭代所得设计变量数据比较 (单位为  $mm$ )

| 设计变量  | H1     | H2     | B     |
|-------|--------|--------|-------|
| 第 4 次 | 16.652 | 13.552 | 7.527 |
| 第 5 次 | 16.607 | 13.521 | 7.492 |
| 差值    | 0.045  | 0.031  | 0.035 |

由表 4 可以看出, 原设计方案中的各个尺寸在优化设计方案之后的设计变量均有所下降, 与原设计方案相比较, 变化最大的是  $H1$ , 减少了  $16.97\%$ 。与原设计方案相比较, 减速器箱体所承受的最大应力得到了提高, 增加了  $16.07\%$ , 与原设计方案相比较, 优化后的减速器箱体的体积减小了  $21.23\%$ 。总体来说, 在本次减速器箱体的优化设计过程中, 达到了优化减速器箱体结构的目的, 实现了优化的预期目标。

表 4 优化设计前后相关参数对比表

| 参数                     | 原设计方案     | 优化后方案     | 变化率    |
|------------------------|-----------|-----------|--------|
| H1 (mm)                | 20        | 16.607    | 16.97% |
| H2 (mm)                | 15        | 13.521    | 9.86%  |
| B (mm)                 | 8         | 7.492     | 6.35%  |
| S <sub>MAX</sub> (MPa) | 56.82     | 65.95     | 16.07% |
| 体积 (mm <sup>3</sup> )  | 0.30465E8 | 0.23998E8 | 21.23% |

## 4 结论

论文通过 SolidWorks 软件绘制某型二级减速器的三维模型, 运用有限元分析软件对某型二级减速器的箱体结构进行优化设计, 通过有限元分析, 实现了减速器箱体结构的优化, 达到了预期的目标, 优化后的方案比原设计方案在体积上得到了提升, 结果表明, 优化后的箱体结构的方案可节省的材料约  $21.23\%$ 。

## 参考文献

- [1] 殷芬.基于有限元与动态仿真的3RO2型减速器的结构优化设计[D].镇江:江苏大学,2011.
- [2] 赵丽娟,刘宏梅.基于ANSYS的矿用减速器箱体的优化设计[J].机械传动,2007,31(4):4.
- [3] 马云睿,张凯杰,郁钦阳,等.基于ABAQUS的二级减速器箱体有限元分析与回归分析[J].农业装备与车辆工程,2022(9):60.
- [4] 刘碧俊,孙铁波.基于ANSYS的YND100减速机箱体优化设计[J].煤矿机械,2013,34(2):7-8.